

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 3432252 A1

⑤① Int. Cl. 4:  
G01 B 9/04  
G 02 B 21/18

⑦① Aktenzeichen: P 34 32 252.3  
⑦② Anmeldetag: 1. 9. 84  
④③ Offenlegungstag: 6. 3. 86

DE 3432252 A1

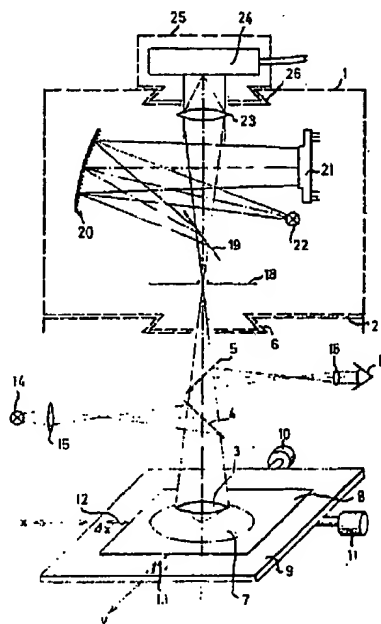
⑦① Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 7920 Heidenheim, DE

⑦② Erfinder:  
Bauschmidt, Peter, Dr., 7080 Aalen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Meßmikroskop

Das Meßmikroskop besitzt einen als aufsetzbare Baueinheit 1 ausgebildeten Meßkopf, der sich sowohl für die mikrodensitometrische Vermessung von Linienbreiten als auch für die spektralinterferometrische Dickenmessung z. B. bei Wafern (7, 87) eignet. In einer ersten Ausführungsform erfolgt die Objektabtastung durch Verschieben des Objekts 7 mit Hilfe eines auf den zur groben Einstellung des Objektfeldes verwendeten Scanningtisch (9) aufgesetzten Piezotisches (8). Hinter einer festen Meßblende (18) im Zwischenbild sind ein Diodenzellenspektralphotometer (20/21) und ein integral messender Empfänger (24) angeordnet. In einer zweiten Ausführungsform enthält die Baueinheit (76) anstelle des integral messenden Empfängers neben dem Diodenzellenspektrometer (70/71) eine weitere Diodenzelle (74) in einer zweiten Zwischenbildebene und der Piezoantrieb ist entfallen.



DE 3432252 A1

## Measuring microscope arrangement for measuring thickness and line width of an object

Patent Number: US4674883  
 Publication date: 1987-06-23  
 Inventor(s): BAURSCHMIDT PETER (DE)  
 Applicant(s): ZEISS STIFTUNG (DE)  
 Requested Patent: DE3432252  
 Application Number: US19850772177 19850903  
 Priority Number(s): DE19843432252 19840901  
 IPC Classification:  
 EC Classification: G01B9/04; G01B11/02  
 Equivalents: JP1863856C, JP5078761B, JP61129506

### Abstract

A measuring microscope arrangement is disclosed which includes a measuring microscope having a measuring head configured as a component which can be mounted on the microscope. The measuring head is suitable for the microdensitometric measurement of line widths as well as for the spectral interferometric measurement of thicknesses of objects such as semiconductor wafers, for example. In a first preferred embodiment of the arrangement of the invention, the object is scanned by displacing the object with the aid of a piezo table mounted on a scanning table utilized for obtaining a coarse position of the field of the object. The measuring microscope arrangement includes an objective for defining an intermediate image and the arrangement includes a measuring diaphragm mounted in the intermediate image. A diode-array spectrometer and an integral receiver are arranged behind the stationary diaphragm. A second preferred embodiment of the arrangement of the invention includes a further diode array in a second intermediate image plane in lieu of the integral measuring receiver. This further diode array is in addition to the diode-array spectrometer. In the second embodiment, a drive for the piezo table is unnecessary.

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - I2

## Description

### FIELD OF THE INVENTION

The invention relates to a measuring microscope for determining linear dimensions of object details such as conductor paths in the semiconductor industry.

### BACKGROUND OF THE INVENTION

The measurement of structures on wafers in the semiconductor industry is conducted pursuant to two different methods which are carried out sequentially.

The transverse measurements of structures such as the widths of conductor paths are determined by means of photometric measurements of the intensity distribution in the object plane on so-called microdensitometers. These microdensitometers are described, for example, in the publication entitled "Leitz-Mitteilungen für Wissenschaft und Technik", Volume 8, No. 3/4, pages 76 to 81. A description of these devices is also provided by U.S. Pat. No. 4,373,817. These devices are derived from microscope photometers and have a displaceable measuring slit of a few  $\mu\text{m}$  width and are mounted in the intermediate image plane. A photomultiplier is connected in cascade with these devices. The slit is moved in the intermediate plane for scanning the intensity distribution in the object plane with a required resolution of typically 10 to 100 nm. This affords the advantage with respect to scanning directly in the object plane of less precise requirements for guidings, temperature consistency et cetera since the object structures are

## Patentansprüche:

- 1) Meßmikroskop zur Bestimmung linearer Dimensionen von Objektdetails wobei photometrisch die Intensitätsverteilung in der Objektebene bzw. zur Ermittlung der Dicke von Objektstrukturen die spektrale Zusammensetzung des von ausgewählten Objektpunkten ausgehenden Lichts gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, daß an das Mikroskop (2) eine für beide Messungen geeignete Baueinheit (1,35,37,51) ansetzbar ist, die hinter einer in der Zwischenbildebene angeordneten, feststehenden Blende (18;28;38;58) ein Diodenzeilenspektrometer (20,21;30,31;40,41;60,61) als Detektor enthält, und daß der in zwei Koordinaten verstellbare Objektisch (9;49) mit einer zusätzlichen Einrichtung (Piezotisch) (8;48) zur Feinpositionierung des Objekts versehen ist.
152. Meßmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein weiterer, integral messender Empfänger (Multiplier 24) mit der Baueinheit (1,35,37) verbunden oder darin integriert (Multiplier 34,44) ist.
3. Meßmikroskop nach Anspruch 1, gekennzeichnet, durch eine elektronische Einrichtung (64), die zur Messung der Intensitätsverteilung in der Objektebene aus den unterschiedlichen Wellenlängen zugeordneten Signalen mehrerer Elemente der Diodenzeile (61) ein integrales Meßsignal bildet.
254. Meßmikroskop nach Anspruch 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessungen der Blende (58) veränderbar sind, insbesondere die Breite der Meßblende einstellbar ist.
5. Meßmikroskop nach Anspruch 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß hinter der Meßblende (58) eine weitere Blende (62) mit einstellbaren Abmessungen in einer Pupillenebene angeordnet ist, die als Eintrittsspalt für das Diodenzeilenspektrometer (60,61) dient.
6. Meßmikroskop nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch einen Strahlteiler (19,29) bzw. schaltbaren Spiegel zur Aufteilung des Meßlichts auf das Spektralphotometer (20,21;30,31) und den integral messenden Empfänger (Photomultiplier 24,34).

7. Meßmikroskop nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der integral messende Empfänger (44) in Bezug auf das Gitter (40) des Spektralphotometers so angeordnet ist, daß er das davon ausgehende Licht in nullter Beugungsordnung empfängt.  
5
8. Meßmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zusätzliche Einrichtung zur Feinpositionierung als auf den Tisch (9,49) aufsetzbarer, durch Piezoantriebe (12,13;52) verstellbarer Objekthalter (8,48) ausgebildet ist.  
10
9. Meßmikroskop nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Piezoantriebe (52) während der Messung der Intensitätsverteilung in der Objektebene in periodische Schwingungen versetzt werden.
1510. Meßmikroskop zur Bestimmung linearer Dimensionen von Objektdetails, wobei zur Bestimmung von Querabmessungen photometrisch die Intensitätsverteilung in der Objektebene bzw. zur Ermittlung der Dicke von Objektstrukturen die spektrale Zusammensetzung des von ausgewählten Objektpunkten ausgehenden Lichts gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, daß an das Mikroskop (82) eine für beide Messungen geeignete Baueinheit (75) ansetzbar ist, die hinter einer in einer ersten Zwischenbildebene angeordneten, entfernbaren bzw. in ihren Abmessungen veränderbaren Blende (78) ein Diodenzeilenspektrometer (70,71) sowie eine, in einer zweiten Zwischenbildebene angeordnete, weitere Diodenzeile (74) enthält, durch die die Intensitätsverteilung in der  
20  
25  
Objektebene ermittelt wird.
11. Meßmikroskop nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch einen Strahlteiler bzw. einen schaltbaren Spiegel (79) zur Aufteilung des Meßlichts auf das Spektralphotometer (70,71) bzw. die weitere Diodenzeile.  
30
12. Meßmikroskop nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende (78) und der Spiegel (79) so miteinander gekoppelt sind, daß die  
35 Umschaltung des Spiegels und der Blende gemeinsam erfolgt.

01-09-84

3

3432252

13. Meßmikroskop nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Diodenzeile in Bezug auf das Gitter des Spektralphotometers so angeordnet ist, daß sie das davon ausgehende Licht in nullter Beugungsordnung empfängt.

5

14. Meßmikroskop nach Anspruch 1-13, dadurch gekennzeichnet, daß zur Hintergrundbeleuchtung der Blende (18) eine über das Gitter (20) des Spektralphotometers auf die Blende abgebildete Lichtquelle (22) verwendet ist.

10

15

20

25

30

35

01111111

3432252

4

5

Firma Carl Zeiss, 7920 Heidenheim (Brenz)

10

15

Meßmikroskop

20

25

30

35

84037 P

84037 G

Meßmikroskop

Die Erfindung betrifft ein Meßmikroskop zur Bestimmung linearer Dimensionen von Objektdetails wie z.B. Leiterbahnen in der Halbleiterindustrie.

Die Vermessung von Strukturen auf Wafern wird in der Halbleiterindustrie nach zwei verschiedenen, nacheinander durchzuführenden Verfahren vorgenommen:

10

Die Querabmessungen der Strukturen, d.h. die Breiten der Leiterbahnen werden in der Regel durch photometrisches Messen der Intensitätsverteilung in der Objektebene auf sogenannten Mikrodensitometern ermittelt wie sie z.B. beschrieben sind in den Leitz-Mitteilungen für Wissenschaft und Technik, Band 8, Nr. 3/4, Seite 76-81 oder der US-PS 437 38 17. Diese Geräte sind von Mikroskopphotometern abgeleitet und besitzen einen in der Zwischenbildebene angeordneten, verschiebbaren Meßspalt von wenigen  $\mu\text{m}$  Breite, mit nachgeschaltetem Photomultiplier. Zur Abtastung der Intensitätsverteilung in der Objektebene mit der dort geforderten Auflösung von typisch 10 - 100 nm wird der Spalt in der Zwischenbildebene bewegt, was gegenüber einer Abtastung direkt in der Objektebene den Vorteil geringerer Genauigkeitsanforderungen für Führungen, Temperaturkonstanz etc. hat, da die Objektstrukturen in der Zwischenbildebene um den Maßstabsfaktor des Objektivs vergrößert abgebildet sind.

25

Die Schichtdicken der Strukturen werden meist auf Mikrospektralphotometern ermittelt durch Messung der Abstände von Interferenzminima und -maxima im Spektrum des vom Objekt reflektierten Lichts. Mikrospektralphotometer für die Halbleiterindustrie sind z.B. in der US-PS 40 87 685 beschrieben.

Wie ausgeführt erfordert die Untersuchung von z.B. Wafern in der Halbleiterindustrie zwei verschiedene Geräte, mit eigener Probenzuführung, eigener Rechnerauswertung etc.. Dabei muß der zu untersuchende Wafer mit seiner Kassette zu jedem der beiden Geräte gebracht und neu unter dem Mikroskop positioniert werden. Dies erfordert einen relativ großen Zeit-

aufwand und erhöht den Platzbedarf und die Gefahr einer Kontamination des zu prüfenden Wafers.

Obwohl beide Gerätetypen vom Grundaufbau her ein Mikroskop beinhalten,  
5 ist es nicht ohne weiteres möglich die eingangs genannten Geräte zusammenzufassen. Denn durch die bei Mikrodensitometern im Zwischenbild beweglich gelagerte Spaltbaugruppe, wird das zusätzliche Einführen eines Spektrometers erschwert. Andererseits genügt die Auflösung der Scanning-Tische, die für die Positionierung des Meß-Spots der eingesetzten Mik-  
10 rospektralphotometer verwendet werden, nicht den Forderungen, die an die Auflösung der Abtastbewegung bei der Mikrodensitometrie gestellt werden.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Gerät der eingangs genannten Art zu schaffen, auf dem beide Untersuchungen, also sowohl die  
15 Mikrodensitometrie als auch die Mikrospektralphotometrie mit der für die Prüfung von Wafer-Strukturen ausreichenden Genauigkeit und Auflösung durchgeführt werden können. Dies Gerät sollte einen einfachen Aufbau besitzen und möglichst ohne großen Umbau aus einem handelsüblichen Mikroskop durch Addition weniger Zusatzteile erstellt werden können.

20

Gelöst wird diese Aufgabe durch Meßmikroskope, die gemäß den Merkmalen des Kennzeichen der Ansprüche 1 oder 10 ausgebildet sind.

Nach der in Anspruch 1 angegebenen Lösung wird das Objekt für die Mi-  
25 krodensitometrie mittels eines z.B. auf den üblichen, in zwei Koordinaten verstellbaren Scanningtisch aufgesetzten, zusätzlichen Einrichtung zur Feinpositionierung bewegt und der Meßspalt in der Zwischenbildebene ist feststehend. Bei dieser Ausführung ist es möglich, hinter dem Meßspalt ein Spektrometer und zwar ein sogenanntes Diodenzeilenspektrometer  
30 anzuordnen, das ohne bewegte Teile arbeitet. Dabei kann die feststehende Blende direkt als Eingangsspalt für das Spektrometer verwendet werden.

Zweckmäßig ist es jedoch hinter der Meßblende, die vorteilhaft in ihrer Breite einstellbar ist, eine weitere Blende in der Pupillenebene  
35 anzuordnen, damit die Größe des Meßfeldes und die Auflösung des Spektrometers unabhängig voneinander gewählt werden können. Die letztgenannte



Ausführungsform bietet außerdem den Vorteil einer höheren Empfindlichkeit bei der Spektralmessung, da die Meßblende im Vergleich zu den bei der Mikrodensitometrie geforderten, geringen Abmessungen weiter geöffnet werden kann, das Spektrometer somit mehr Licht erhält.

5

Als Detektor zur Gewinnung des für die Mikrodensitometrie verwendeten Signals kann ein zusätzlicher integral messender Empfänger, z.B. ein Photomultiplier gewählt werden, dem zweckmäßig über einen Strahlteiler oder einen schaltbaren Spiegel aus dem Strahlengang für das Spektral-  
10 photometer abgezwiegtes Licht zugeführt wird. Daneben ist es auch möglich das Gitter des Spektralphotometers selbst als Strahlteiler zu verwenden indem der zusätzliche Empfänger in Bezug auf das Gitter so angeordnet ist, daß er nur das davon ausgehende Licht der nullten Beugungsordnung empfängt.

15

Besonders vorteilhaft ist es jedoch, wenn eine elektronische Einrichtung vorgesehen ist, die zur Gewinnung des Signals für die Mikrodensitometrie die den unterschiedlichen Wellenlängen zugeordneten Signale mehrerer, z.B. aller, Elemente der Diodenzeile integriert und daraus ein integra-  
20 les Meßsignal bildet. Bei dieser Lösung erfolgt die Umschaltung von der Spektralmessung für die Dickenbestimmung des Wafers auf die mikrodensitometrische Breitenmessung im wesentlichen rein elektronisch, d.h. ganz ohne mechanisch bewegte Teile, wenn man von einer evtl. Anpassung der Breite des Meßspaltes zur Erhöhung der Empfindlichkeit bei der Spektral-  
25 messung absieht.

Außerdem ist für die Mikrodensitometrie kein zusätzlicher Detektor nötig, vielmehr dient die gleiche Diodenzeile für beide Messaufgaben als Empfänger.

30

Zur Feinpositionierung des Objekts mit einer für die Mikrodensitometrie von Waferstrukturen ausreichenden Genauigkeit sind beispielsweise piezoelektrisch verstellbare Tischaufsätze bekannter Bauart verwendbar. Aufgesetzt auf einen mit herkömmlichem Schrittmotor betriebenen Scan-  
35 ngingtisch mit einer Schrittweite von z.B. 10 µm, durch den das Objekt grob abgerastert wird, bietet der aufgesetzte Piezotisch die geforderte Auflösung von typisch 10 nm bei der Abtastung durch den Meßspalt inner-

halb des übersehenen Objektfeldes.

Ein besonderer Vorteil der vorstehend beschriebenen Lösung ist darin zu sehen, daß die Objektabtastung nur auf der optischen Achse des Mikroskops stattfindet, so daß Verzeichnungsfehler des Objektivs nicht in die Meßgenauigkeit eingehen. Außerdem ist es in der genannten Konfiguration möglich den feststehenden Meßspalt mit einem Minimum an Streulicht zu beleuchten und für den Beobachter im Sehfeld des Mikroskops sichtbar zu machen.

10

Die Lösung nach Anspruch 10 unterscheidet sich von der nach Anspruch 1 dadurch, daß anstelle einer mechanischen Abtastung in der Objektebene die Intensitätsverteilung in einer durch eine zusätzliche Zwischenabbildung hinter der ersten Zwischenbildebene gelegenen Bildebene durch eine dort angeordnete, zweite Diodenzeile gemessen wird.

Zwar ist z.B. aus der DE-AS 22 11 235 ein Meßmikroskop mit einer Diodenzeile zur photoelektrischen Objektabtastung an sich bekannt. In dem bekannten Gerät befindet sich die Diodenzeile jedoch in der ersten Zwischenbildebene, wodurch es nicht ohne weiteres möglich ist das bekannte Mikrodensitometer zusätzlich mit einem Spektralphotometer in der geschilderten Weise zu kombinieren.

Auch in der Lösung nach Anspruch 10 ist in der Zwischenbildebene eine feststehende Blende angeordnet, die jedoch für die Densitometrie entfernbar oder in ihren Abmessungen (Spaltbreite) veränderbar ist. Zweckmäßig ist das Wegschalten bzw. Aufziehen der Blende mit der Umschaltung des Strahlenganges vom Diodenzeilenspektrometer auf die zusätzliche, zweite Diodenzeile gekoppelt.

30

Auch hier kann das Beugungsgitter des Spektrometers selbst als Strahlteiler verwendet werden, wenn die zweite Diodenzeile in Bezug auf das Gitter so angeordnet ist, daß sie das in nullter Ordnung gebeugte Licht nachweist. Für die letztgenannte Ausführungsform ist der Eingangsspalt des Monochromators in die Zwischenbildebene zu legen und für die densitometrische Messung zu entfernen.

Weitere Vorteile der Erfindung werden nachstehend anhand der Figuren 1-7 der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen Ausführungsbeispiele dargestellt sind.

- 5 Fig. 1 ist eine Prinzipskizze der Optik eines mit einem Mikroskop verbundenen, ersten Ausführungsbeispiels;
- Fig. 2 ist eine Prinzipskizze der Optik eines anstelle des Aufsatzes (1) in Fig. 1 verwendeten zweiten Ausführungsbeispiels;
- 10 Fig. 3 ist eine Prinzipskizze der Optik eines anstelle des Aufsatzes (1) in Fig. 1 verwendbaren dritten Ausführungsbeispiels;
- Fig. 4 ist eine Prinzipskizze der Optik eines Meßmikroskops nach einem
- 15 vierten Ausführungsbeispiel;
- Fig. 5a sind graphische Darstellungen der von den Mikroskopen nach Fig. und 5b 1 bzw. 4 gelieferten Meßsignale;
- 20 Fig. 6 ist eine graphische Darstellung zur Verdeutlichung des zeitlichen Verhaltens des Meßsignals nach Fig. 5b in einer modifizierten Ausführungsform eines Meßmikroskops nach Fig. 4;
- Fig. 7 ist eine Prinzipskizze der Optik eines mit einem Mikroskop
- 25 verbundenen, fünften Ausführungsbeispiels.

Das in Fig. 1 dargestellte Meßmikroskop besteht aus einem durch die gestrichelte Linie 2 skizzenhaft angedeuteten Grundkörper eines herkömmlichen Auflichtmikroskops und einer mittels einer Befestigungs-  
30 schwalbe 6 daraufgesetzten, zusätzlichen Baueinheit 1 für die Durchführung von densitometrischen und spektralinterferometrischen Messungen.

Die Optik des Auflichtmikroskops wird, da derartige Geräte bekannt sind, nur kurz erläutert. Sie umfaßt ein Objektiv 3 und dahinter angeordnet  
35 einen ersten teildurchlässigen Spiegel 4 zur Einspiegelung des von der Lampe 14 ausgehenden und vom Kollektor 15 kollimierten Lichts für die Auflichtbeleuchtung eines Wafers 7, sowie einen zweiten, teildurchlässigen

sigen Spiegel 5 zur Aufteilung des Beobachtungsstrahlenganges auf die Okulare 16 und die Baueinheit 1. Das Mikroskop kann zusätzlich auch über eine Durchlichteinheit verfügen, so daß Halbleitermasken vermessen werden können, der besseren Übersichtlichkeit halber ist hier jedoch nur 5 der Auflichtstrahlengang skizziert. Mit 9 ist ein sogenannter "Scanning-Tisch" bezeichnet, der über Schrittmotore 10 und 11 grob mit einer Auflösung von ca. 10 µm für die Durchmusterung des Wafers 7 verschoben werden kann.

10 An der Stelle in der Baueinheit 1, an der das vom Objektiv 3 entworfene Zwischenbild des Wafers 7 entsteht, ist eine Meßblende 18 angeordnet. Die Blende 18 hat die Form eines Schlitzes von wenigen µm Breite, dessen Schmalseite in der Papierebene liegt. Für die Densitometrie wird das Zwischenbild über diese Meßblende hinweg bewegt, indem der Wafer 7 15 selbst mittels eines auf den Tisch 9 aufgelegten Piezotisches 8 mit hoher Auflösung geringfügig bewegt wird. Mit 12 und 13 sind die Pfeile bezeichnet, die diese auf die "grobe" Positionierung durch den Scanning-tisch 9 aufgesetzte Feinverstellung  $\Delta x$  und  $\Delta y$  des Objekts verdeutlichen. Ein Piezotisch mit einer Auflösung besser als 10 nm, der für den 20 genannten Zweck geeignet ist, wird beispielsweise unter der Bezeichnung "Piezo-Flex-Stage", Typ 1a, von der Firma Wye-Creek Designs, Frederic, MD, USA angeboten. Derartige Tische sind auch aus "Precision Engineering, 3 (1) 1981, S. 14 und Review of Scientific Instruments, 49 (1978) S. 1735-1740 an sich bekannt.

25

Hinter der Blende 18 ist ein teildurchlässiger Spiegel 19 angeordnet. Auf ihn folgt im Teilstrahlengang des durch ihn hindurchtretenden Lichtes eine Optik 23, durch die die Pupille des Objektivs 3 auf einen empfindlichen Photomultiplier 24 abgebildet wird. Dieser Photomultiplier 30 24 ist in einem abnehmbaren Zusatzteil 25 gefaßt und über eine weitere Wechselschwalbe 26 mit der Baueinheit 1 verbunden.

Der Multiplier 24 ist an eine hier nicht dargestellte Auswerteeinheit angeschlossen. Bei mikrodensitometrischen (Linienbreiten-) Messungen 35 wird der Verlauf der Signalintensität des von der Blende 18 durchgelassenen Lichtes in Abhängigkeit der Position  $\Delta x$  bzw.  $\Delta y$  des Piezotisches 8 ausgewertet. Wenn im Zuge der Abtastbewegung durch den Piezotisch 8

eine linienförmig Struktur im Zwischenbild über die Blende 18 wandert, ergibt sich beispielsweise der in Figur 5b dargestellte Signalverlauf 46, aus dem sich die Linienbreite bestimmen läßt.

- 5 Das vom Strahlteiler 19 reflektierte Licht fällt auf ein konkaves Reflexionsgitter 20, dem eine Diodenzeile 21 oder ein sogenanntes CCD (Charge Coupled Device)-Array als Detektor nachgeschaltet ist. Die Signale der ebenfalls mit dem Speicheroszillographen verbundenen Diodenzeile 21 liefern die spektrale Zusammensetzung des remittierten Lichtes
- 10 aus dem von der Meßblende 18 begrenzten Objektbereich. Die Dicke von Waferstrukturen läßt sich aus der Lage der Interferenzminima und -maxima des Graphs in Figur 5a ermitteln, der ein typisches Ausgangssignal der Diodenzeile 21 darstellt.
- 15 Das Aufsetzteil 1 erhält außerdem eine Lichtquelle 22, die vom Gitter 20 in nullter Beugungsordnung auf die Rückseite des Spalts 18 abgebildet wird. Der so rückwärts beleuchtete Meßspalt 18 wird vom Objektiv 3 in die Objektebene abgebildet und damit für den Beobachter 17 sichtbar.
- 20 In Fig. 2 ist eine alternative Ausführungsform 35 für die Baueinheit 1 aus Fig. 1 dargestellt. In der Baueinheit 35 befindet sich direkt hinter der Meßblende 28 die Optik 33, die ein Bild der Objektivpupille auf der Oberfläche des im ausgespiegelten Strahlengang des Strahlteilers 29 angeordneten Multipliers 34 erzeugt. Am Ort des Pupillenbildes in dem
- 25 vom Strahlteiler 29 durchgelassenen Strahlengang ist eine weitere Blende 32 angebracht, die als Eingangsspalt für das aus einem Konkavgitter 30 und einer Diodenzeile 31 bestehenden Spektrometer dient. Beide Blenden 28 und 32 sind bezüglich der Spaltbreite einstellbar. Diese Anordnung bietet den Vorteil, daß die Breite des Meßspaltes, über den der zu un-
- 30 tersuchende Objektbereich ausgewählt wird (Blende 28), und damit die Auflösung bei der mikrodensitometrischen Linienbreitenmessung und das Auflösungsvermögen des Spektrometers 30/31 (Blende 32) voneinander unabhängig gewählt werden können.
- 35 In einer weiteren alternativen Ausführungsform nach Fig. 3 ist der für die Mikrodensitometrie als Empfänger dienende Photomultiplier 44 in der Baueinheit 37 gegenüber dem Gitter 40 des Spektralphotometers so angeor-

net, daß er das vom Gitter 40 ausgehende Licht der nullten Beugungsordnung empfängt, während die Diodenzelle 41 wie bisher das z.B. in erster Ordnung gebeugte Licht empfängt. Hier wirkt das Gitter 40 selbst als Strahlteiler. Als Eingangsspalt für das Spektralphotometer und gleichzeitig als Meßspalt für die Densitometrie dient eine Spaltblende 38 in der Baueinheit 37. Hinter der Blende 38 ist ein zu 10% teildurchlässiger Spiegel 39 angeordnet, der einerseits zur Strahlumlenkung dient und außerdem ein rückseitiges Beleuchten der Blende 38 mit Hilfe der Lichtquelle 42 und des Kondensors 43 zuläßt.

10

Auch das in Fig. 4 dargestellte Meßmikroskop nach einer bevorzugten Ausführungsform besitzt wieder einen über den Antrieb 50 grob bewegbaren Scanningtisch 49, auf den ein Piezotisch 48 zur Feinpositionierung des Objekts, z.B. eines Wafers 47, aufgesetzt ist. Der Antrieb 52 des Piezotisches wird ebenso wie der Antrieb 50 des Scanningtisches von einer zentralen Rechneinheit 56 aus gesteuert. Die Optik des Grundkörpers des Mikroskops ist stark vereinfacht dargestellt und zeigt lediglich das Objektiv 53. In Bezug auf die Anordnung von Beleuchtungs- und visuellem Beobachtungsstrahlengang wird auf die entsprechenden Bauteile in Fig. 1 verwiesen.

20

Der kombinierte Densitometrie- und Spektralmeßkopf ist wie bei den vorher beschriebenen Ausführungsbeispielen wieder als Baueinheit ausgeführt, wie das durch die mit 51 bezeichnete Umrandung angedeutet ist.

25

Eingangsseitig ist am Ort des vom Objektiv 53 entworfenen Zwischenbildes eine durch einen vom Rechner 56 gesteuerten Aktuator 54 in ihrer Breite einstellbare, spaltförmige Meßblende 58 angeordnet. Dahinter befindet sich eine Optik 63 zur Zwischenabbildung der Objektiv-Pupille an einer Stelle, an der eine weitere, ebenfalls wieder vom Rechner 56 in ihrer Breite über einen zweiten Aktuator 55 einstellbare Blende 62 angeordnet ist. Die Blende 62 dient als Eingangsspalt für das aus dem Konkavgitter 60 und der Diodenzelle 61 bestehende Spektralphotometer. Ein Vollspiegel 59 zwischen Blende 62 und Gitter 60 dient lediglich zur Strahlumlenkung.

30

Neben der Diodenzelle 61 enthält der Meßkopf 51 keinen weiteren Detektor. Stattdessen ist zwischen die Diodenzelle und den Rechner 56 ein

Integrator 64 geschaltet, der, wie durch den Schalter 57 angedeutet ist, bei Spektralmessungen außer Funktion gebracht werden kann. Ein Speicherbaustein 65 und ein Monitor 66 sind mit dem Rechner 56 verbunden.

5 Zur Durchführung einer spektralinterferometrischen Schichtdickenmessung wird vom Rechner 56 die Meßblende 58 relativ groß gewählt (gestrichelte Stellung) und vom Beobachter auf der zu untersuchenden Struktur positioniert. Der Eingangsspalt 62 ist zur Erreichung eines ausreichenden spektralen Auflösungsvermögens verkleinert (gestrichelte Stellung) und  
10 der Integrator 64 außer Funktion gesetzt. Auf dem Monitor 66 erscheint deshalb bei stillgesetzten Antrieben 50 und 52 beispielsweise das in Fig. 5a dargestellte Spektrum 45 eines ausgewählten Probenpunktes.

Beim anschließenden Umschalten auf eine mikrodensitometrische Linien-  
15 breitenmessung wird der Meßspalt 58 stark verkleinert (durchgezogene Stellung), der Eingangsspalt 62 verbreitert (durchgezogene Stellung) und der Integrator 64 in Funktion gesetzt, der die Signale der Einzelelemente der Diodenzeile 61 summiert. Bei der anschließenden Abtastung des Objekts 47 durch den Piezoantrieb 52 wird das Summensignal aller Einzel-  
20 elemente der Diodenzeile 61 in Abhängigkeit von der Objektposition im Speicher 65 abgelegt und auf dem Monitor 66 dargestellt (Fig. 5b).

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 benötigt also lediglich die Diodenzeile 61 als einzigen Detektor sowohl für die Linienbreiten- als auch  
25 für die Dickenmessung. Hohe Empfindlichkeit für die Densitometrie wird erreicht, indem die Signale sehr vieler Einzelelemente der Diodenzeile 61 aufsummiert werden. Dabei kann die Blende 62 ohne weiteres weit geöffnet oder ganz entfernt werden, da es bei der Densitometrie primär nicht auf die Information über die spektrale Verteilung des nachgewie-  
30 senen Lichtes ankommt.

Bei der spektralinterferometrischen Dickenmessung dagegen wird die Blende 62 in ihrer Eigenschaft als Eingangsspalt für das Gitterspektrometer 60 auf typisch 50µm Breite zusammengezogen. Gleichzeitig wird der Meß-  
35 spalt 58 von den typisch 10µm Breite für die Densitometrie (entspricht ca. 10nm in der Objektebene) auf etwa 200µm Breite vergrößert. Damit steht auch bei der Spektralphotometrie genügend Licht für eine empfind-

liche Messung zur Verfügung.

Um zu vermeiden, daß aufgrund von mechanischer oder thermischer Drift des Objekts 47 unter dem Objektiv 53 oder aufgrund von Hystereseeffekten des Piezoantriebs 52 während der Abtastung des Objekts 47 bei der Mikrodensitometrie Meßfehler auftreten, wird der Piezoantrieb 52 mit einer Amplitude von etwa  $10\mu\text{m}$  bei niedriger Frequenz moduliert. Befindet sich die in ihrer Breite zu vermessende Linienstruktur innerhalb des Modulationshubes, dann werden die zugehörigen Signale, wie in Fig. 6 skizziert, gegeneinander versetzt. Zur Ermittlung der Breite einer Linienstruktur aus den zeitlich nacheinander erscheinenden Signalen A, B und C ect. ist es zweckmäßig, die Kantenabstände  $\Delta a$  und  $\Delta b$  bzw.  $\Delta b$  und  $\Delta c$  jeweils auf entgegengesetzten Flanken der Modulationsbewegung zu bestimmen und daraus den Mittelwert zu bilden. Dann fällt der Einfluß der genannten Drift-Bewegungen auf die Linienbreitenmessung hinaus.

Das in Fig. 7 dargestellte Ausführungsbeispiel für ein Meßmikroskop für Linienbreiten- und Schichtdicken Messung von Wafern benötigt keinen Piezotisch zur Feinpositionierung. Das Mikroskop, dessen Grundkörper mit 82 bezeichnet ist, besitzt lediglich einen Scanningtisch 89 mit Schrittmotoren 80 und 81 zur groben Positionierung des Wafers 87 unter dem Objektiv 83. Die übrigen mit 84 bis 88 bezeichneten Bauteile entsprechen denen im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1.

Am Ort des vom Objektiv 83 entworfenen ersten Zwischenbildes im Meßkopf 75, der wieder als separate Baueinheit ausgebildet ist und auf dem Mikroskopstativ 82 mit einer Wechselschwalbe 76 befestigt ist, befindet sich eine gleichzeitig als Eingangsspalt eines Spektrometers dienende Meßblende 78. Das Spektrometer besteht aus einem Konkavgitter 70 und einer Diodenzeile 71. Zwischen dem Gitter 70 und dem Eingangsspalt 78 ist ein Prisma 79 zur Strahlumlenkung angeordnet. Der Spalt 78 und das Prisma 79 sind zu einer Einheit 72 zusammengefaßt und können gemeinsam wie durch den Pfeil 77 angedeutet, aus dem Strahlengang entfernt werden.

Bei Entfernung von Blende 78 und Prisma 79 wird das Zwischenbild des Objekts 87 von einer Optik 73 nochmals, und zwar auf der Oberfläche einer zweiten Diodenzeile 74 abgebildet. Diese zweite Diodenzeile 74



01-09-84

- 15 -

3432252

gibt ein Signal ab, das die Intensitätsverteilung des Lichts in der  
Objektebene repräsentiert, und wird daher für mikrodensitometrische Mes-  
sungen verwendet.

5 Ist dagegen die Baugruppe 72 in den Strahlengang eingeschaltet, liefert  
die erste Diodenzeile 71 den für die spektralinterferometrische Dicken-  
messung auszuwertenden Signalverlauf.

Bei den Diodenzeilen 71 und 74 kann es sich um unterschiedliche Typen  
10 handeln, die bezüglich Elementenzahl, Elementengröße ect. an die jewei-  
lige Meßaufgabe angepaßt sind. Beide Zeilen sind an einen gemeinsamen  
Rechner angeschlossen, der die Signalauswertung vornimmt und die Meßer-  
gebnisse bildet und graphisch darstellt.

15

20

25

30

35

16  
- Leerseite -

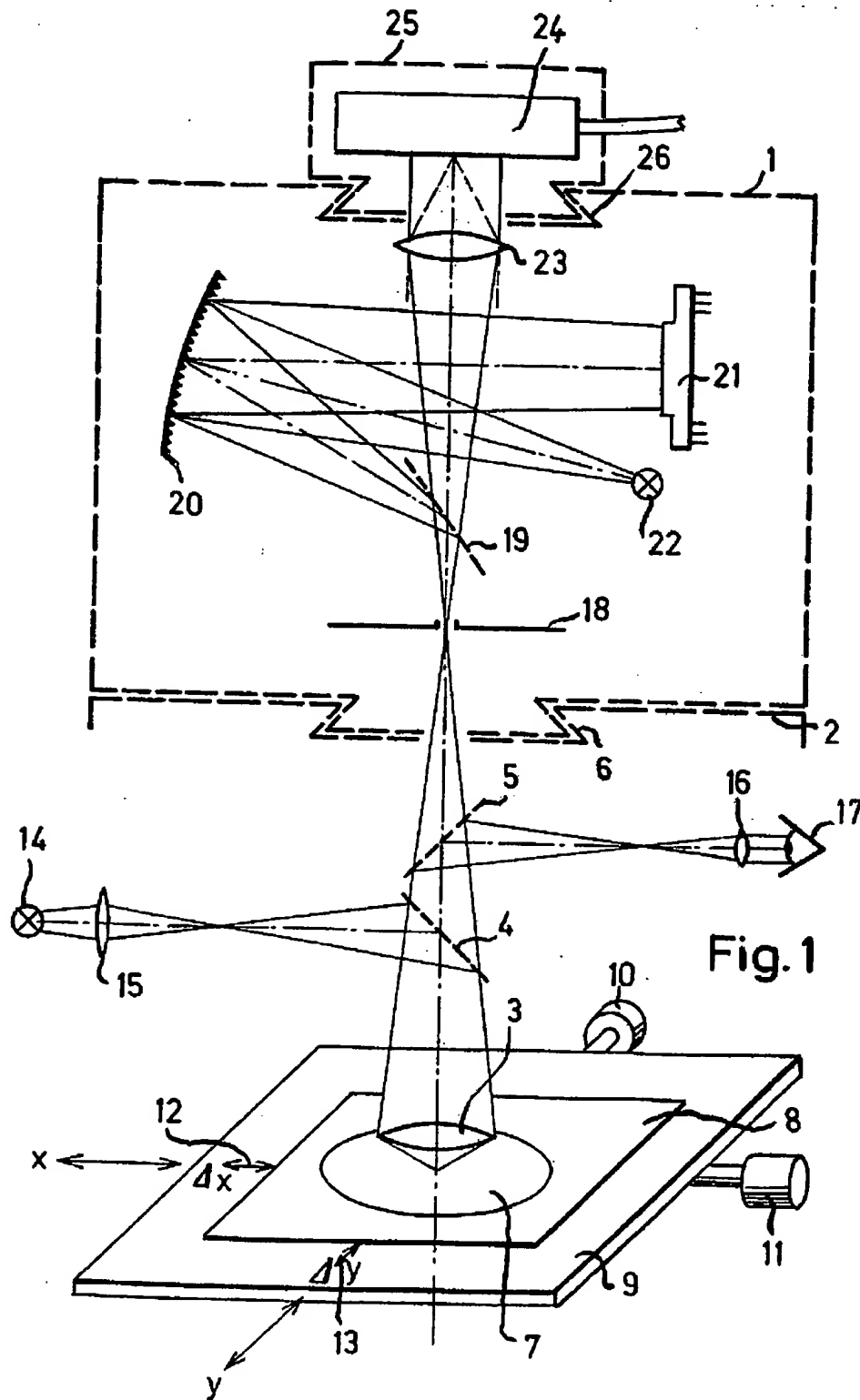


Fig. 1

01-09-84

-17-

3432252

Fig. 2

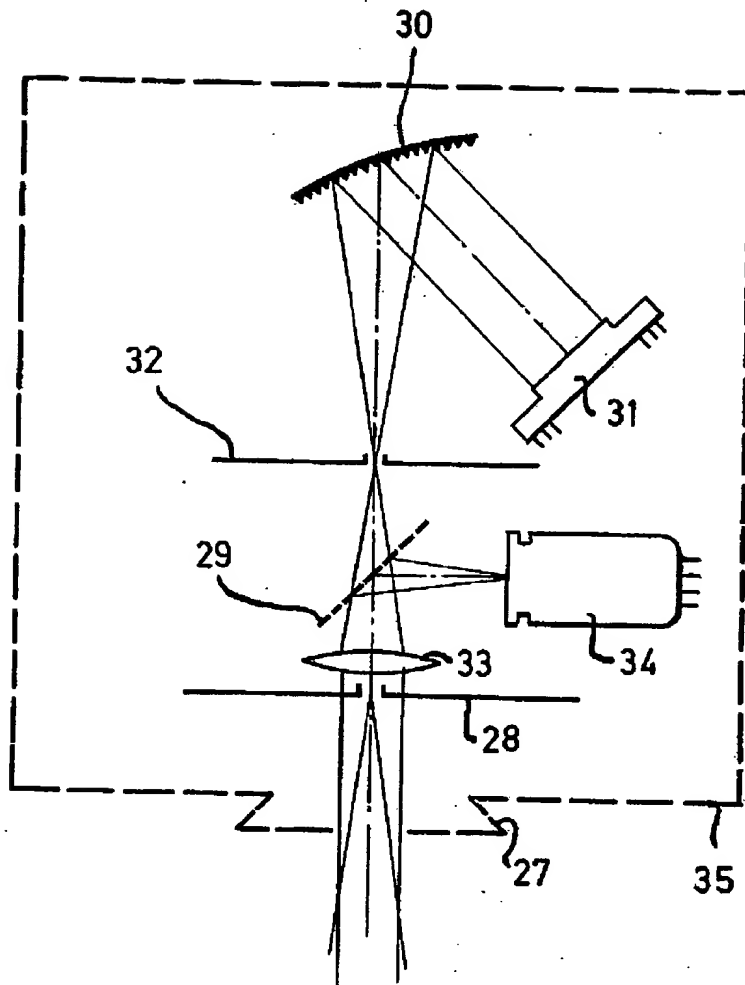


Fig.3

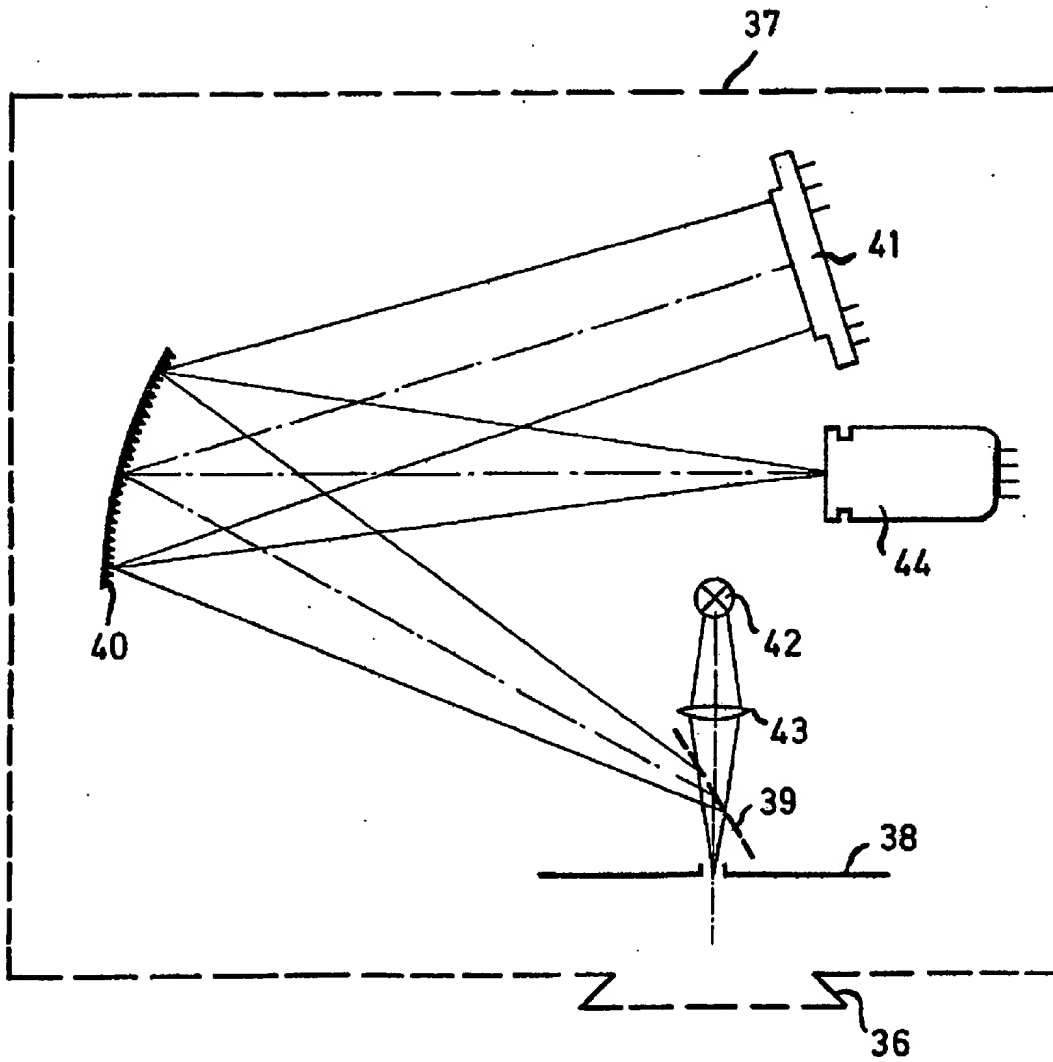


Fig. 4

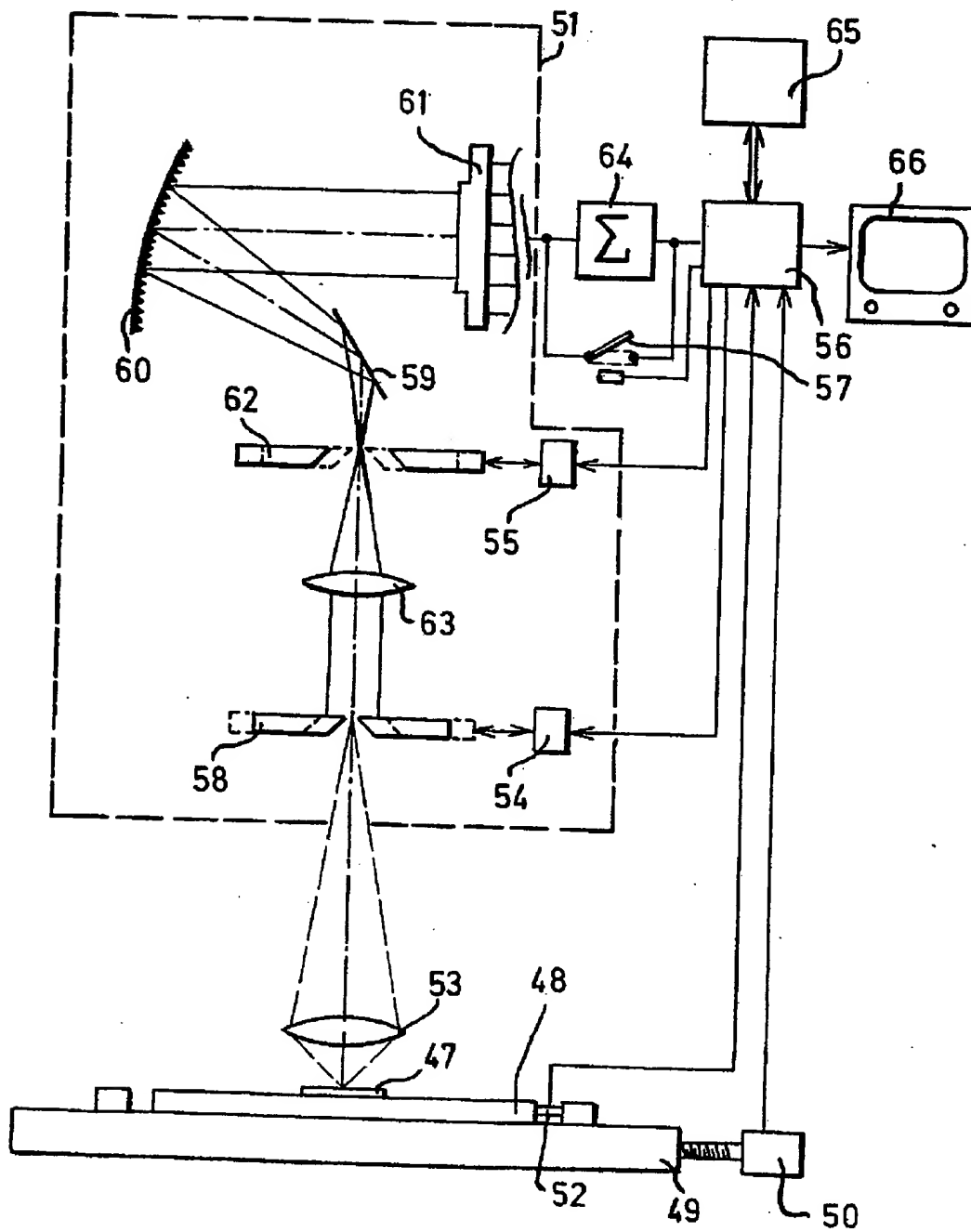


Fig.5a

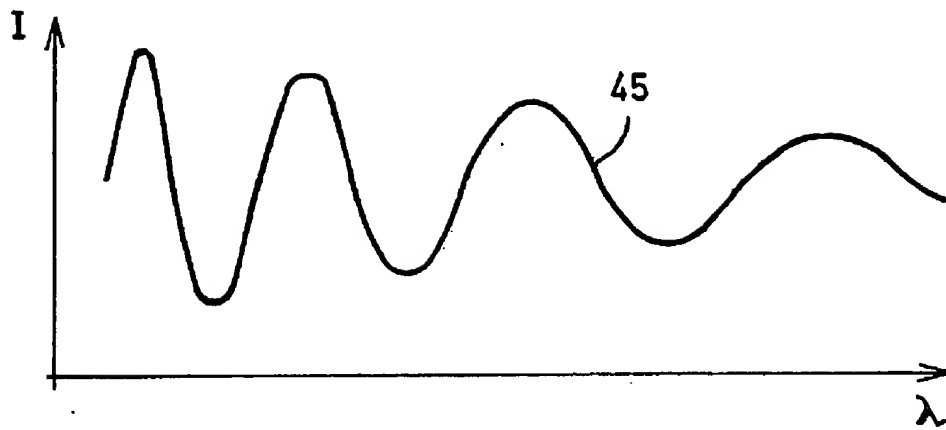


Fig.5b

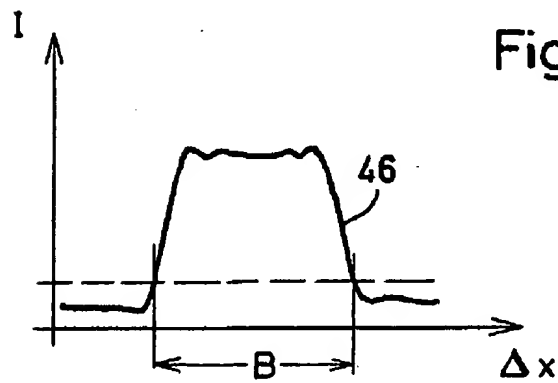


Fig.6

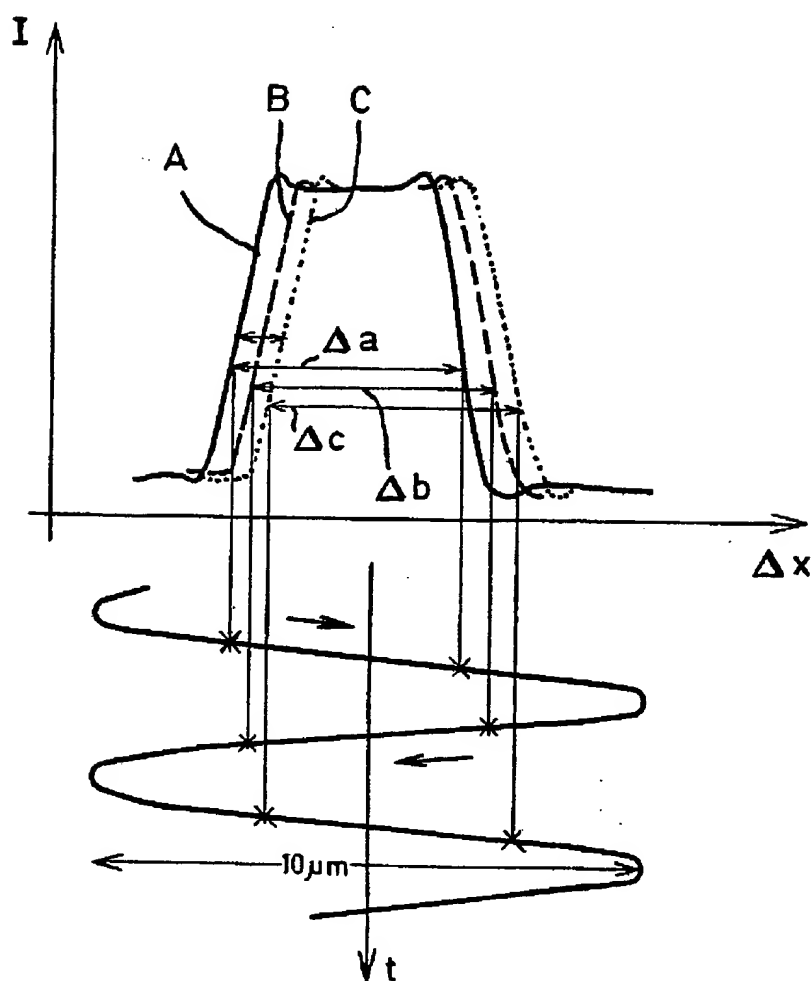
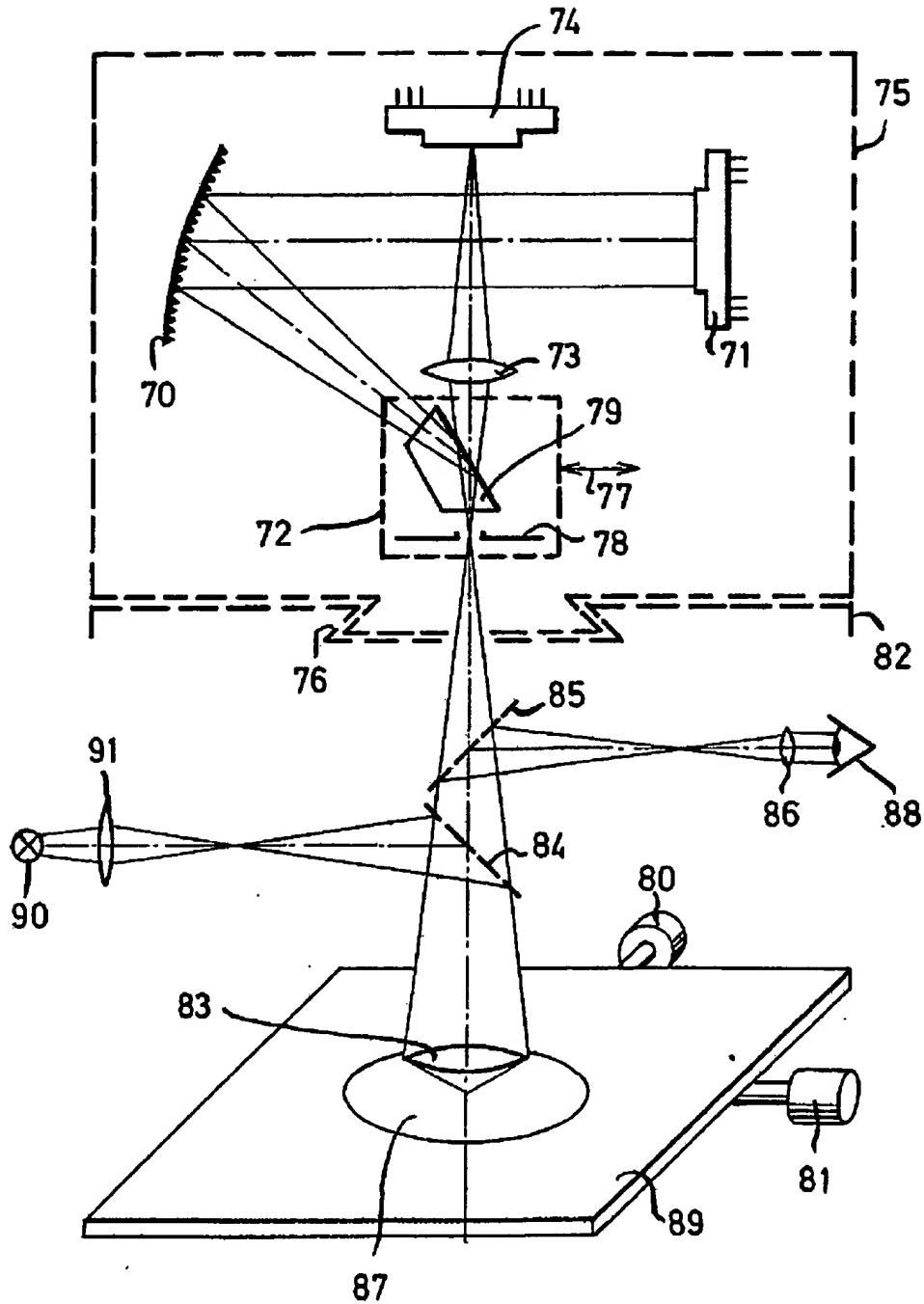




Fig.7



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**